

STUDI PERBAIKAN ELEMEN BALOK STRUKTUR BANGUNAN GEDUNG DENGAN SISTEM BALOK KOMPOSIT

Abdullah Latip¹⁾

¹⁾ Dosen Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar

ABSTRACT

In the last few years we often hear of many buildings that have been damaged or collapse caused by many factors such as design errors, overloading, wrong construction method, fire, or earthquakes. Various methods of structural reinforcement and retrofitting have been developed with the aim of finding the most effective and efficient methods. In this research is used retrofitting method by adding profile steel structure in reinforced concrete beam. This method is done by adding the WF steel profile to the reinforced concrete beam which will increase the moment of inertia so that it will improve the ability of the structure to hold the working load. Used steel WF 250.125.6.9, as a reinforcement using shear connector. With the addition of this steel profile the beam strength is eligible to withstand the loads.

Keywords: *Reinforced Concrete Beam, Retrofitting, WF 250 Steel Profile.*

1. PENDAHULUAN

Beton bertulang merupakan salah satu material yang paling populer digunakan pada sebagian besar bangunan baik besar maupun kecil, misalnya untuk gedung, jembatan, bendungan, dinding penahan tanah, saluran irigasi dan masih banyak lagi. Dalam penulisan ini lebih banyak ditekankan pada struktur bangunan yang telah mengalami kerusakan, sehingga masih bisa diupayakan dalam penggunaannya. Salah satu perbaikan untuk menyelesaikan permasalahan pada balok beton bertulang, jika tulangan tarikannya telah mengalami tegangan leleh, adalah dengan melakukan perkuatan dengan penambahan profil baja baik itu berupa profil canal ataupun profil WF. Dalam penelitian ini digunakan baja WF sebagai tambahan struktur pada balok beton bertulang yang mengalami kerusakan. Penambahan profil WF pada bagian bawah struktur balok beton bertulang akan meningkatkan kekuatan balok dalam menahan beban yang bekerja. Hal ini dikarenakan penambahan profil WF tersebut akan meningkatkan momen inersia yang secara langsung akan meningkatkan kapasitas momen lentur dan kekuatan geser balok beton bertulang.

Berdasarkan latar belakang di atas dapat dirumuskan permasalahan yang akan di angkat dalam penelitian ini yaitu berapa besar ukuran baja WF yang harus ditambahkan pada balok yang mengalami lendutan dan retak akibat beban yang bekerja dan berapa jumlah shear connector yang harus digunakan agar penambahan baja WF pada balok yang mengalami lendutan dan retak dapat bekerja secara maksimal.

Perkuatan struktur menurut Triwiyono (2004) dilakukan untuk bangunan yang riskan terhadap beban baru yang akan harus didukung, sehingga perlu meningkatkan kemampuan bangunan tersebut atau menambahkan elemen struktur baru yang tidak tersedia atau dianggap tidak ada pada saat struktur dibangun. Perkuatan struktur biasanya dilakukan sebagai upaya pencegahan sebelum struktur mengalami kehancuran. Sedangkan perbaikan struktur diterapkan pada bangunan yang telah rusak, yaitu merupakan upaya untuk mengembalikan fungsi struktur seperti semula setelah terjadi penurunan kekuatan. Jika bangunan tidak segera ditangani perbaikan atau perkuatannya, kerusakan dapat berlanjut lebih parah lagi. Agar bangunan yang sudah rusak dapat terus difungsikan, diperlukan tindakan rehabilitasi yang dapat berupa perbaikan (retrofit) atau perkuatan (*strengthening*).

Beton tidak dapat menahan gaya tarik melebihi nilai tertentu tanpa mengalami retak-retak. Untuk itu, agar dapat bekerja dengan baik dalam suatu sistem struktur, perlu dibantu dengan memberi perkuatan penulangan yang terutama akan mengemban tugas menahan gaya tarik yang bakal timbul di dalam sistem (Dipohusodo, 1999).

Agar dapat berlangsung lekatan antara baja tulangan dengan beton, selain batang polos berpenampang bulat (BJTP) juga digunakan baja tulangan deform atau ulir (BJTD), yaitu batang tulangan baja yang permukaannya dikasarkan secara khusus, diberi sirip teratur dengan pola tertentu, atau batang tulangan yang dipilih pada proses produksinya (Dipohusodo, 1999).

Dalam Nawy (1998) disebutkan bahwa sifat-sifat terpenting baja tulangan meliputi : Modulus Young (E), kekuatan leleh (fy), kekekuatan batas (fu), mutu baja yang ditentukan, dimensi batang atau kawat.

¹ Korespondensi: Abdullah Latip, Telp 08114007399, latip-uh03@poliupg.ac.id

Menurut Dipohusodo (1994), apabila penampang balok beton bertulang mengandung jumlah tulangan tarik lebih banyak dari yang diperlukan untuk mencapai keseimbangan regangan, maka penampang balok demikian disebut bertulangan lebih (*overreinforced*).

Berlebihnya tulangan tarik menyebabkan garis netral bergeser kebawah. Hal ini mengakibatkan beton mendahului mencapai regangan maksimum 0,003 sebelum tulangan tariknya leleh. Apabila penampang balok tersebut dibebani momen lebih besar lagi, yang berarti regangannya semakin besar sehingga kemampuan regangan beton terlampaui, maka akan terjadi keruntuhan dengan beton hancur secara mendadak tanpa didahului dengan gejala-gejala peringatan terlebih dahulu. Sedangkan apabila suatu penampang balok beton bertulang mengandung jumlah tulangan tarik kurang dari yang diperlukan untuk mencapai keseimbangan regangan, penampang demikian disebut bertulangan kurang (*underreinforced*). Sehingga tulangan tarik akan mendahului mencapai regangan lelehnya sebelum beton mencapai regangan 0,003, lendutan balok meningkat tajam sehingga dapat merupakan tanda-tanda kehancuran.

Menurut Vis dan Kusuma (dalam Juhaini 2007), bila suatu penampang beton bertulang yang dibebani lentur murni dianalisis, pertama-tama perlu dipakai sejumlah kriteria agar penampang itu mempunyai probabilitas keruntuhan yang layak pada keadaan batas hancur. Penampang yang dianalisis mempunyai pengaruh yang besar pada suatu prosedur atau suatu anggapan dasar tertentu yang disepakati mempunyai probabilitas keruntuhan tertentu pula. Bila anggapan-anggapan ini diubah, maka probabilitas keruntuhan juga berubah.

Anggapan-anggapan yang digunakan dalam menganalisis beton bertulang yang diberi beban lentur adalah sebagai berikut:

1. Beton tidak dapat menerima gaya tarik
2. Perubahan bentuk berupa pertambahan panjang dan perpindahan (regangan tarik dan tekan) pada serat-serat penampang berbanding lurus dengan jarak tiap serat ke sumbu netral. Ini merupakan kriteria yang kita kenal, yaitu penampang bidang datar akan berupa bidang datar dan tegak lurus dengan sumbu batang.
3. Hubungan antara tegangan-regangan baja (f_y dan ϵ_s) dan beton (f'_c dan ϵ_c) yang terjadi pada penampang beton dinyatakan secara skematis.

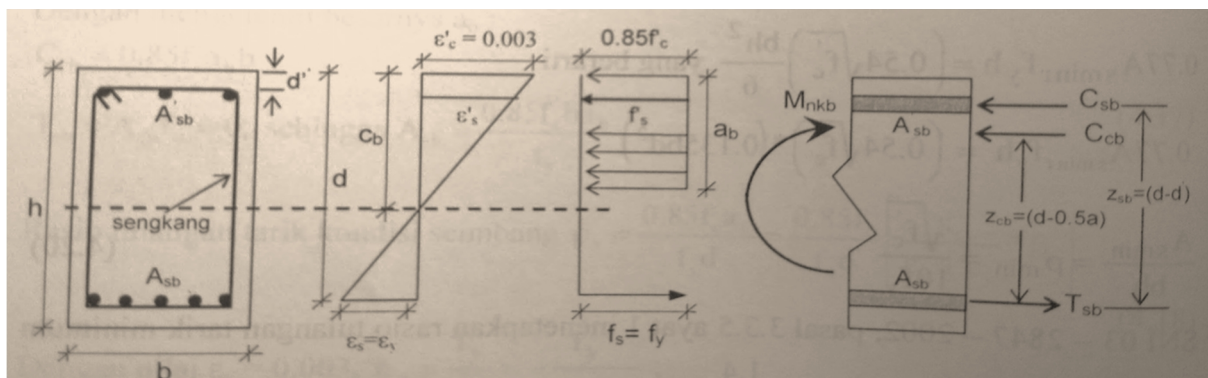
Lentur pada balok adalah akibat dari regangan deformasi yang disebabkan oleh tegangan-tegangan lentur akibat beban luar. Jika beban luar secara terus-menerus ditambah, maka struktur akan mengalami retak-retak lentur sepanjang bentang dan akan mengalami kegagalan saat beban mencapai kapasitas elemen. Beban tersebut dinamakan keadaan batas kegagalan lentur.

Jika sebuah balok terbuat dari material homogen, isotropik, dan elastis secara linear, tegangan maksimum dapat diperoleh dengan formula $f = Mc/I$, akan tetapi pada beban ultimit balok beton tidaklah homogen dan elastis sehingga perumusan tersebut tidak dapat diterapkan. Dalam mendefinisikan perilaku penampang beton bertulang, ada beberapa asumsi yang ditetapkan yaitu :

1. Distribusi regangan diasumsikan sebagai linear
2. Regangan dalam baja dan beton disekelilingnya adalah sama sebelum retak beton dan pelelehan baja
3. Beton lemah terhadap tarik sehingga akan retak pada 10% dari kuat tekannya, beton pada daerah tarik diabaikan dan dianggap tulangan tarik menerima semua gaya tarik.

Agar keseimbangan gaya horizontal terpenuhi, gaya tekan (C) dan gaya tarik (T) harus saling mengimbangi, sehingga dibuat persamaan :

$$C_s + C_c = T_s \quad (1)$$



Gambar 1. Distribusi tegangan dan regangan pada penampang balok tulangan rangkap
Dari persamaan (1) dan gambar diatas maka didapatkan persamaan :

$$C_s = A'_s \cdot f'_s$$

$$C_c = 0,85 f'_c (\beta_1 b_d - A'_s)$$

$$T_a = A_s f_y$$

Menentukan posisi garis netral dari diagram regangan :

$$C_b = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_c + \varepsilon_y} d = \frac{0,003}{0,003 + \frac{f_y}{200000}} d = \frac{600d}{600 + f_y}; s_i \quad f_y = M$$

$$C_s = \rho'_b f'_s b$$

Dengan $\rho_b = \frac{A_s}{b}$, maka :

$$C_c = 0,85 f'_c b \left(\beta_1 \frac{C_b}{d} - \rho'_b \right) \quad (2)$$

$$T_a = \rho_b f_y b$$

Dua kemungkinan tegangan yang terjadi pada tulangan tekan berdasarkan regangan

$$\varepsilon'_s = \frac{C_b - d'}{C_b} (0,003):$$

- $f'_s = f_y$ jika $\varepsilon'_s \geq \varepsilon_y$
- $f'_s = E_s \varepsilon'_s$ jika $\varepsilon'_s \leq \varepsilon_y$

Dari keseimbangan gaya seperti pada persamaan (1) :

$$0,85 f'_c b \left(\beta_1 \frac{C_b}{d} - \rho' \right) + \rho' f'_s b = \rho_b f_y b$$

$$\frac{0,8 f'_c}{f_y} \left(\beta_1 \frac{C_b}{d} - \rho' \right) + \rho' \frac{f'_s}{f_y} = \rho_b \quad (3)$$

Didalam SNI 03-2847-2002 ditetapkan ratio tulangan rencana (ρ) dengan pemasangan tulangan tekan tidak boleh melebihi nilai :

$$\text{Maksimum } \rho = \frac{3}{4} \rho_b + \rho'_b \frac{f'_c}{f_y} \text{ dengan } \rho_b = \frac{0,8 f'_c}{f_y} \left(\beta_1 \frac{C_b}{d} \right) \quad (4)$$

Sehingga untuk menentukan momen nominal kapasitas penampang balok tulangan rangkap dengan persamaan sebagai berikut:

$$M_n = C_c z_c + C_s z_s$$

Atau

$$M_n = 0,85 f'_c (a - A'_s) (d - 0,5a) + A'_s f'_s (d - d') \quad (5)$$

Dalam praktek, komponen struktur tidak hanya terdiri dari satu bahan saja seperti baja atau kayu tetapi komponen struktur dapat juga terdiri dari kombinasi 2 bahan misalnya bahan beton dikombinasi dengan bahan baja, contohnya antara lain beton bertulang. Bahan kayu juga dapat dikombinasi dengan bahan baja, dengan bahan baja yang berfungsi sebagai penguat

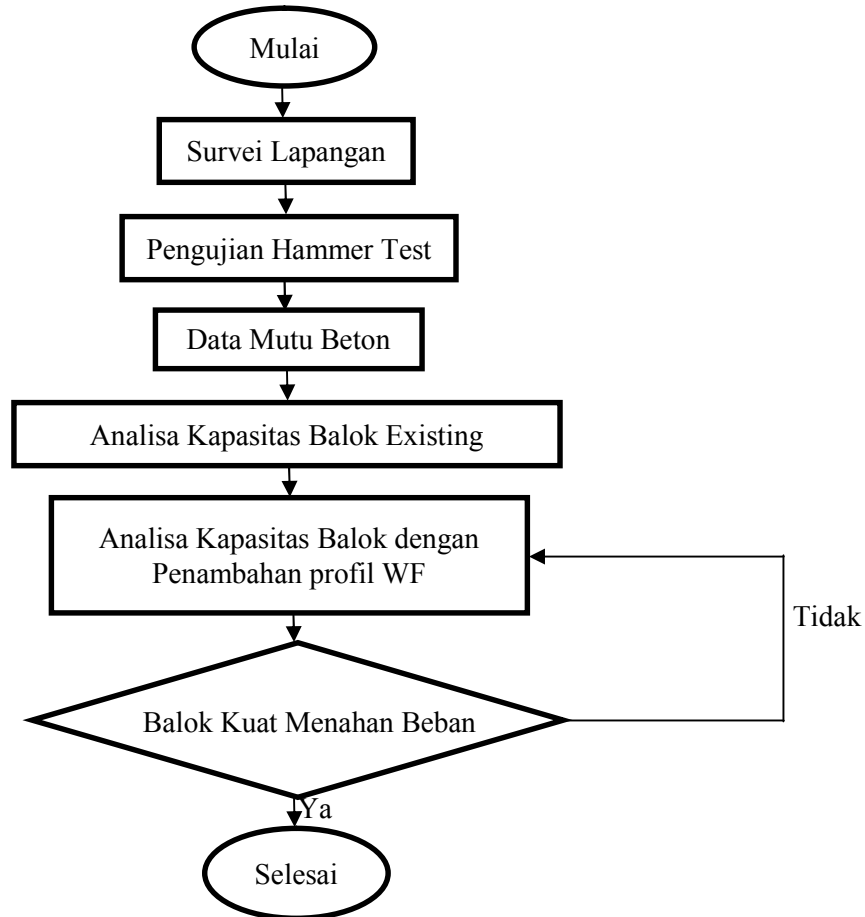
Apabila sebuah penampang balok terdiri dari dua bahan (bahan 1 dan bahan 2) mengalami momen lentur, maka deformasi (regangan) yang terjadi pada penampang akan tetap sebanding dengan jaraknya ke garis netral. Walaupun regangan yang terjadi sama pada pertemuan kedua bahan, berdasarkan hukum Hooke tegangan yang terjadi pada serat penampang pada masing-masing bahan akan berbeda besarnya, hal ini diakibatkan oleh nilai modulus elastisitas yang berbeda pada masing-masing bahan.

Dalam menghitung tegangan pada penampang dengan dua bahan maka penampang dibuat menjadi salah satu bahan padanan dengan ukuran penampang sesuai dengan perbandingan nilai modulus elastisitas kedua bahan tersebut.

$$n = \frac{E_1}{E_2} \quad (6)$$

2. METODE PENELITIAN

Prosedur penelitian mengikuti diagram alir seperti pada Gambar 2. Secara detail prosedur penelitian mengikuti langkah-langkah sebagai berikut.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

Objek penelitian adalah salah satu kantor pelayanan publik di kota Pare-pare. Dimana struktur bangunan tersebut tersusun dari struktur rangka beton bertulang biasa. Pada salah satu balok lantai 2 dengan bentang antar kolom sejauh 7 meter telah terjadi lendutan yang cukup besar. Selain telah terjadi lendutan, balok tersebut juga telah mengalami retak-retak pada sisi tarik yang menandakan bahwa tulangan tarik pada balok tersebut telah mengalami leleh. Hal ini tentunya sangat mengkhawatirkan karena bangunan tersebut berfungsi sebagai sarana pelayanan publik yang tentunya selalu ramai sehingga jika terjadi kegagalan atau keruntuhan dapat memakan korban jiwa yang tidak sedikit. Atas dasar tersebut maka penelitian ini dilakukan untuk memberikan solusi perbaikan dan perkuatan yang dapat dilakukan untuk mencegah terjadinya hal-hal yang tidak diinginkan. Pengambilan data lapangan antara lain adalah data “hammer test” dan pengamatan pola retak pada balok yang melendut tersebut

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dan dari hasil pengukuran dimensi balok didapatkan ukuran balok 25 cm x 40 cm dengan tebal pelat 12 cm. Pengujian selanjutnya adalah pengujian Schmidt Hammer Test. Pengujian ini bertujuan untuk memperkirakan nilai kuat tekan beton eksisting yang didasarkan pada kekerasan permukaan beton pada seluruh bagian komponen struktur. Acuan yang digunakan adalah SNI 03-4430-1997, Metode Pengujian Kuat Tekan Elemen Struktur Beton dengan Alat Palu Beton Type N dan NR. Adapun hasil pengujian Schmidt Hammer Test menunjukkan kuat tekan pada balok adalah 18 N/mm² (setara K-200).

Dari hasil pengamatan visual dapat terlihat bahwa elemen balok telah mengalami retak lentur ditandai dengan pola retak yang vertikal seperti ditunjukkan pada gambar berikut ini.



Gambar 3. Gambar pola retak pada balok

Berdasarkan hasil perhitungan beban yang bekerja pada balok adalah sebesar 46 kN/m², sehingga menghasilkan momen maksimum yang terjadi di tengah bentang sebesar 232 kN.m. Momen inilah yang harus dipikul oleh balok yang ditinjau. Dengan mengaju pada data-data sebagai berikut maka analisis balok eksisting dapat dilakukan untuk mengetahui kekuatan dari balok tersebut.

Data-data perhitungan :

As	= 804 mm ² (3 D 16mm)	ρ	= 0,0089	d	= 360 mm
As'	= 401 mm ² (2 D 16mm)	ρ'	= 0,0045	b	= 250 mm
Fy	= 400 MPa	Es	= 200.000 MPa	Ec	= 19.940 MPa
F'c	= 18 MPa	d'	= 40 mm		
H	= 400 mm				
ρ_m	$= \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{4} = 0,0035$	maka $\rho > \rho_m$ (memenuhi)			

Untuk memeriksa rasio tulangan utama kondisi seimbang :

$$C_b = \frac{600d}{600 + f_y} = \frac{600 * 360}{600 + 400} = 216 \text{ mm}$$

$$\rho_b = \frac{0,85 f'_c}{f_y} \left(\beta_1 \frac{C_b}{d} \right) = 0,0195$$

$$\rho \leq 0,75\rho_b = 0,0148 \text{ dimana } \rho = 0,0089 \leq 0,0148 \text{ maka memenuhi.}$$

Untuk kesetimbangan gaya

$$0,85 f'_c b \left(\frac{a}{d} - \rho' \right) + \rho' f'_s b = \rho_b f_y b$$

$$0,85 f'_c \left(\frac{a}{d} - \rho' \right) + \rho' f'_s = \rho_b f_y \approx 0,85(18) \left(\frac{a}{250} - 0,0045 \right) + (0,0045)f'_s = (0,0089)(400)$$

$$a = 82,454 - 0,105f'_s \text{ dengan } f'_s = f_y \text{ (tulangan tekan leleh) maka } a = 40,423$$

$$M_n = 0,85f'_c (a - A'_s)(d - 0,5a) + A'_s f'_s (d - d')$$

$$\phi M_n = 0,80 (81,515) = 65,212 \text{ k} \cdot \text{m} < M (232 \text{ k} \cdot \text{m})$$

Kapasitas balok beton bertulang tidak cukup untuk menahan momen maksimum yang terjadi sehingga harus diperkuat dengan penambahan baja WF pada bagian bawah balok beton bertulang. Proses penyelesaiannya dengan menggunakan prinsip 2 bahan yang digabung menjadi 1 bahan dalam hal ini baja.

$$\text{Penampang equivalen } n = \frac{E_B}{E_B} \frac{P}{1} = \frac{2}{1} = 2$$

Dicoba dengan menggunakan baja WF250.125.6.9 dengan data-data penampang antara lain A = 37,66 cm², Ix = 4050 cm⁴, Iy = 294 cm⁴, Wx = 324 cm³, Wy = 47 cm³. Dengan menggabungkan kedua bahan tersebut diperoleh momen inersia gabungan (Ig) sebesar 39.188, 63 cm⁴. Pada penampang gabungan tersebut terjadi

tegangan pada 3 titik yang ditinjau masing-masing pada titik atas balok beton, titik sambungan antara baja dengan beton dan titik penampang bawah baja dengan besar tegangan sebagai berikut :

$$\text{Pada poin 1 : } \sigma_1 = \frac{M C_a}{n I_g} = \frac{2.2 \cdot .9 \cdot (8.9 + 2)}{1 \cdot (3 \cdot .1 \cdot .6)} = 167,39 \text{ kg/cm}^2 = 17 \text{ MPa} < 18 \text{ MPa (OK)}$$

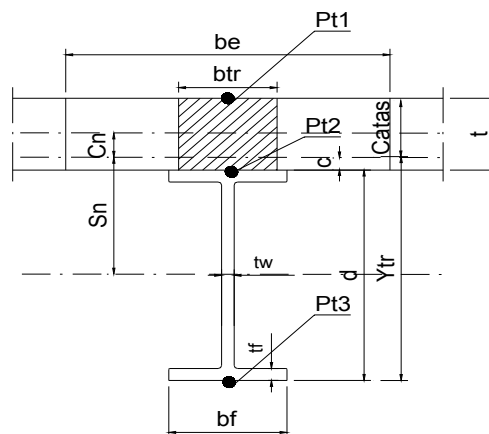
$$\text{Pada poin 2 : } \sigma_2 = \frac{M C}{n I_g} = \frac{2.2 \cdot .9 \cdot (1 \cdot .1)}{1 \cdot (3 \cdot .1 \cdot .6)} = 64,21 \text{ kg/cm}^2 = 6,5 \text{ MPa} < 18 \text{ MPa (OK)}$$

$$\text{Pada poin 3 : } \sigma_3 = \frac{M Y_t}{I_g} = \frac{2.2 \cdot .9 \cdot (3 \cdot .0)}{3 \cdot .1 \cdot .6} = 2095,94 \text{ kg/cm}^2 = 213,65 \text{ MPa} < 240 \text{ MPa (OK)}$$

Kapasitas momen plastis penampang gabungan adalah :

$$M_p = A \cdot f_t \cdot 0,5(d - (t - 0,5 C_a)) = 3.002.995,4 \text{ kg.cm} = 306 \text{ kN.m} > 212 \text{ kN.m}$$

Dari hasil perhitungan dibutuhkan shear connector sebanyak 26 buah dengan diameter 22 mm dan dipasang dengan jarak 50 cm dalam 2 baris dengan masing-masing baris ada 13 buah.



Gambar 4. Penampang transformasi gabungan antara balok beton bertulang dan baja profil

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan :

1. Dari hasil pengamatan lapangan diperoleh data bahwa balok yang ditinjau telah mengalami retak lentur dan dikhawatirkan akan mengalami kerusakan lebih parah jika tidak segera diberi perkuatan.
2. Dari hasil pengujian hummer test didapatkan mutu beton eksisting sebesar 18 N/mm² atau setara dengan K200.
3. Kapasitas momen penampang balok beton bertulang hanya 65,212 kNm sedangkan momen maksimum yang terjadi 212 kNm sehingga balok eksisting harus diperkuat untuk dapat memikul beban kerja.
4. Dengan penambahan profil baja WF250.125.6.9 pada sisi bawah balok beton bertulang didapatkan kapasitas momen plastis sebesar 306 kN.m yang cukup untuk memikul beban kerja.
5. Untuk menyatukan profil baja dengan balok beton bertulang eksisting digunakan shear connector sebanyak 26 buah atau dipasang dengan jarak 50 cm sebanyak 2 baris dengan masing-masing baris ada 13 buah.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional, 2002, *Tata Cara Perencanaan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*, Bandung.
- Dipohusodo, I., 1994, *Struktur Beton*, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Ferguson, J., dan Cowan, M., 1986, *Struktur Beton Bertulang Edisi kesatu*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Nawi, E.G., 1998, *Beton Bertulang Suatu Pendekatan*, Rafika Aditama, Bandung.
- Nasution, Amrinsyah, 2009, *Analisis dan Desain Struktur Beton Bertulang*, Penerbit ITB, Bandung.
- Park, R dan Paulay, T., 1974, *Reinforced Concrete Structure*, A Wiley-Intersciens Publication, New York.
- Triwiyono, A., 2004, *Perbaikan dan Perkuatan Struktur Beton*, Topik Bahan Ajar, UGM, Yogyakarta.